

파일럿 규모 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치의 성능특성

최호경, 박석주, 임정환, 김상도, 박현설, 박영옥
 한국에너지기술연구원 대기청정기술연구센터

Performance of a New Type Pilot Scale Hybrid Dust Collector

H.K.Choi, S.J.Park, J.H.Lim, S.D.Kim, H.S.Park, Y.O.Park
 Clean Air Technology Research Center, Korea Institute of Energy Research

서론

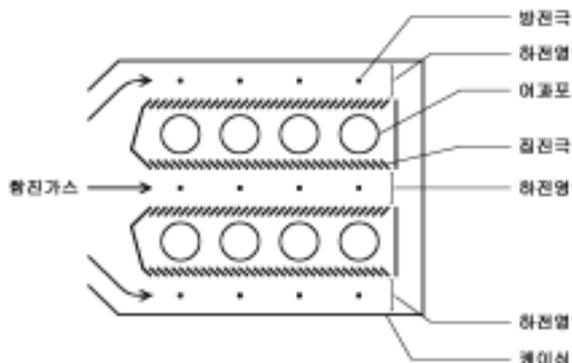
본 연구에서는 전기집진 기술과 여과집진 기술의 조합에 의한 먼지입자의 포집성능 상승효과를 최대한 높일 수 있는 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치(Hi-Filter)를 개발하기 위한 연구의 일환으로 파일럿 규모의 장치를 이용한 실험을 통하여 장치의 성능을 검증하였다.

전기집진 방식과 여과집진 방식이 일체형으로 조합된 전기여과집진장치 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치(Hi Filter) 개발을 위한 지난 연구에서는 실험실 규모의 장치를 이용한 실험을 통하여 장치의 최적 형상 설계를 위해 가스 및 먼지입자 수평 유입조건에서 Hi-Filter 내부의 집진 필터, 방전극, 집진극 등의 형상 및 배치 변화에 따른 먼지입자의 하전 및 포집특성 분석을 수행하였으며, 성능 검증을 위해 운전조건의 변화에 따른 Hi-Filter의 먼지 포집특성 변화를 측정하였다. 그 결과, Hi-filter는 방전극간의 간격이 240mm, 방전극과 집진판의 거리가 80mm, 집진판의 간격 및 각도가 각각 30mm 및 45°일 경우 최적 성능을 발휘하며, 이때 Hi-Filter의 성능은 전기집진부만에 의한 효율이 99.9%를 넘는 등 매우 우수한 것으로 나타난 바 있다¹⁾.

본 연구에서는 Hi-Filter의 본격적인 상용화에 앞서 장치의 스케일 업에 따른 성능 변화 특성과 운전 조건을 결정하기 위해 파일럿 규모의 실험장치를 설계 및 제작하고, 운전 조건에 따른 성능 변화를 고찰하였다.

파일럿 규모 Hi-Filter

수치모사 결과와 실험실 규모 Hi-Filter에서의 실험 결과를 바탕으로 설계한 파일럿 규모 Hi-Filter의 기본 구조를 [그림 1]에 나타내었다. 집진장치의 유입구를 통해 집진챔버로 유입된 먼지입자는 방전극과 집진극 사이에 형성되는 하전 영역으로 유입된다. 하전 영역에 유입된 먼지는 코로나 방전에 의해 하전되고 정전기적 인력과 함진가스의 흐름에 의해 집진극 쪽으로 이동한다. 집진극에서 함진가스는 집진극 사이의 유로를 통과하여 여과포 쪽으로 이동하게 되는데 집진극의 구조상 함진가스의 흐름 방향은 직각 이상으로 급격히 꺾이게 되며, 이때 함진가스중 대부분의 먼지는 정전기적 인력과 관성에 의해 함진가스의 유선을 따라가지 못하고 벗어나 집진극에 부딪혀 포집된다.



구조상 함진가스의 흐름 방향은 직각 이상으로 급격히 꺾이게 되며, 이때 함진가스중 대부분의 먼지는 정전기적 인력과 관성에 의해 함진가스의 유선을 따라가지 못하고 벗어나 집진극에 부딪혀 포집된다.

집진극에 포집되지 않은 나머지 먼지 입자는 여과포에 도달하여 포집된다.

기존의 여과집진장치에서는 여과포의 탈진조작시 탈진된 먼지가 함진가스의 기류를 타고 다시 여과포에 재부착되어 탈진효율이 떨어지고, 여과

[그림 1] Hi-Filter의 기본 구조

포의 압력손실을 상승시키며, 결과적으로 여과포의 수명을 단축시키게 된다. 반면, Hi-Filter는 탈진조작에 의해 여과포로부터 떨어진 먼지입자의 일부가 집진극에 포집되므로 여과포로 재부착되는 먼지의 양이 줄어들도록 하여 탈진효율을 높이며, 여과포의 잔류압력손실을 낮추고, 탈진 회수를 감소시키며, 이로 인해 여과포의 수명을 기존의 여과집진장치에 비해 증가시키는 것을 기대할 수 있다.

또한, Hi-Filter는 여과집진부와 전기집진부를 조합함에 있어서 집진극을 기준으로 방전극을 여과포의 반대편에 위치시킴으로써 여과포가 방전극에서의 고전압 방전 스파크에 의해 손상되는 것을 근본적으로 방지할 수 있도록 하였다.

[그림 2]에 파일럿 규모 Hi-Filter의 실물사진을 나타내었다. 파일럿 규모 Hi-Filter의 용량은 1800m³/hr이고, 지름 156mm, 길이 1,500mm 규격의 여과포가 8본(여과면적 : 5.88m²) 설치되며, 여과포의 탈진은 충격기류 탈진방식을 채택하였다.



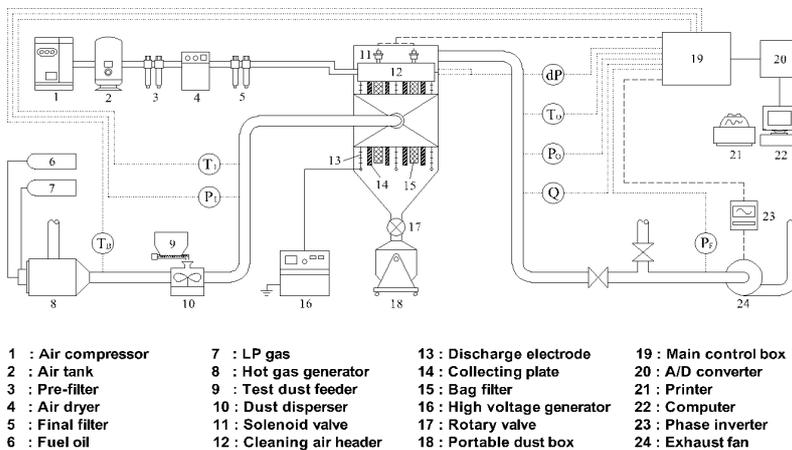
[그림 2] 파일럿 규모 Hi-Filter

[그림 3]에 나타낸 파일럿 규모 Hi-Filter의 성능 평가를 위한 실험장치는 처리기체 내의 먼지농도를 조절하기 위한 먼지공급 및 분산부분, 실험 조건별 여과성능 및 탈진성능을 실험하기 위한 장치 본체부분, 전기집진부에 고전압을 공급하기 위한 고전압 발생부분, 집진장치를 통과하는 기체의 유량조절 및 배출을 위한 처리기체 흡인부분, 산업체 현장조건 모사를 위해 고온의 기체를 발생시키는 열풍 발생부분, 탈진용 압축공기를 공급하기 위한 압축공기 공급 및 분사부분, 실험장치로 유입되는 기체의 압력, 온도, 유량 측정 및 시료 채취부분, 그리고 자료획득 및 처리부분으로 구성된다.

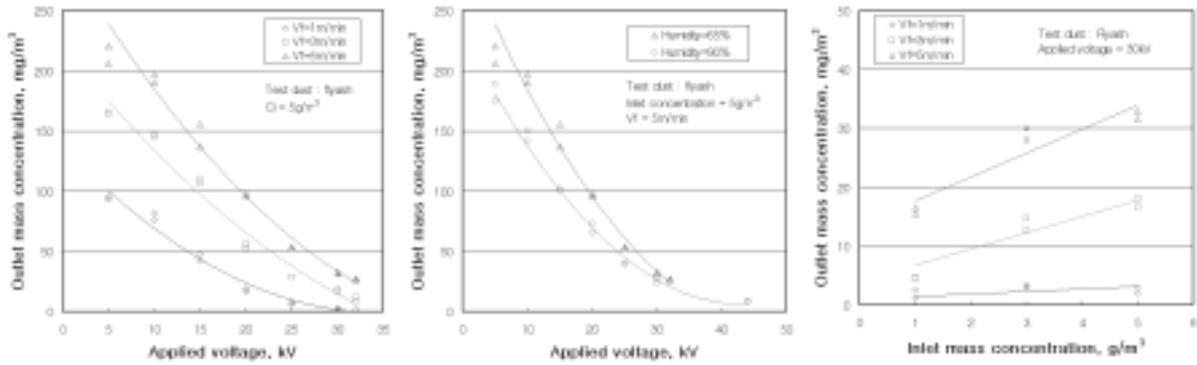
파일럿 규모 Hi-Filter의 성능평가

파일럿 규모 Hi-Filter 내부의 전기집진부(ESP)만의 성능을 평가하기 위해 집진챔버 내의 여과포를 제거한 상태에서 전기집진부의 집진특성을 평가하였다. [그림 4]에 각종 운전변수 변화에 따른 출구에서의 먼지농도 변화 특성 결과를 나타내었다. 실험용 먼지로는 미분탄 연소보일러에서 수거한 비산먼지(flyash)를 사용하였다. 그림에서 (a)는 여과속도와 전기집진부로 인가되는 전압을

변화시켰을 경우의 출구에서의 먼지농도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 인가전압이 증가하게 되면 먼지의 하전량이 증가하게 되어 집진극에 포집되는 먼지의 양이 늘어나면서 출구를 통하여 배출되는 먼지의 양이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있다. 반면 여과속도가 증가하면 먼지입자가 전기적 인력에 의해서 미처 포집되지 못



[그림 3] 파일럿 규모 Hi-Filter의 실험공정 구성도

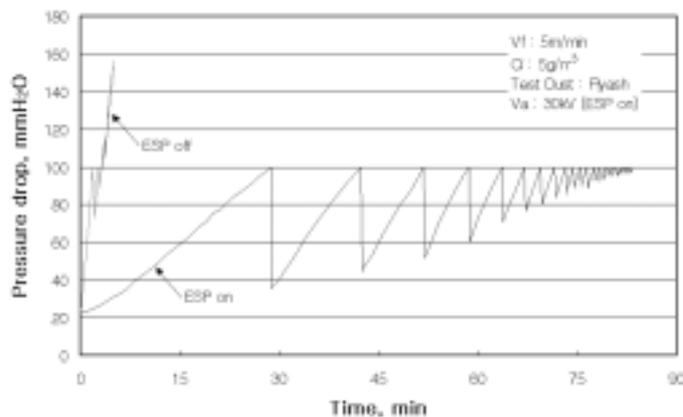


(a) 여과속도와 인가전압 변화 (b) 습도와 인가전압 변화 (c) 여과속도와 입구농도 변화

[그림 4] 운전변수 변화에 따른 출구먼지농도 변화(여과포 미장착)

하는 경우가 발생하게 되므로 출구를 통해 배출되는 먼지의 양이 늘어나게 된다. [그림 4]의 (b)는 상대습도 변화에 따른 출구먼지농도 변화를 나타낸 것이다. 상대습도가 높아지면 출구로 배출되는 먼지의 양이 줄어드는 것을 알 수 있는데, 이것은 공기중의 습도가 높아지면 전기집진부에서 방전 및 하전이 보다 원활히 이루어지면서 집진극에 의한 먼지의 포집이 활성화되는 것으로 판단된다. [그림 4]의 (c)는 여과속도와 입구먼지농도를 변화시켰을 경우의 출구 먼지농도의 변화를 나타낸 것이다. 여과속도가 작은 경우에는 입구로 유입되는 먼지의 농도와 거의 상관없이 출구먼지농도가 매우 낮게 나타나지만, 여과속도가 높아지면 입구의 먼지농도 증가에 따라 출구로 배출되는 먼지의 양도 증가하게 된다.

[그림 5]는 여과포를 장착한 상태에서 전기집진부에 고전압을 인가하지 않았을 경우(ESP off)와 인가한 경우(ESP on)의 여과포의 압력손실 변화 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 전기집진부에 고전압을 인가하지 않은 경우에는 실험 시작 직후부터 압력손실이 급격하게 상승하여 약 2분이 경과하면 탈진조작에도 탈진이 이루어지지 않는 운전 불능 상태로 된다. 반면 전기집진부에 고전압을 인가하면 탈진 간격이 현저하게 연장되고 잔류압력손실 또한 낮아짐을 알 수 있다. 최초 탈진개시 시간을 비교해 보면 전기집진부에 고전압을 인가하지 않은 경우가 2분인 반면, 고전압을 인가한 경우는 29분으로 탈진간격이 15배 가량 증가하게 된다. 이것은 전기집진부에 고전압을 인

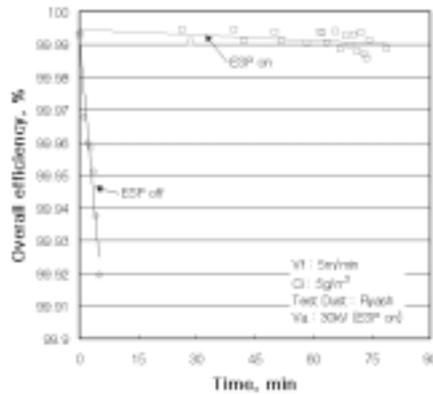


[그림 5] 고전압 인가 여부에 따른 여과포 압력손실 변화 특성

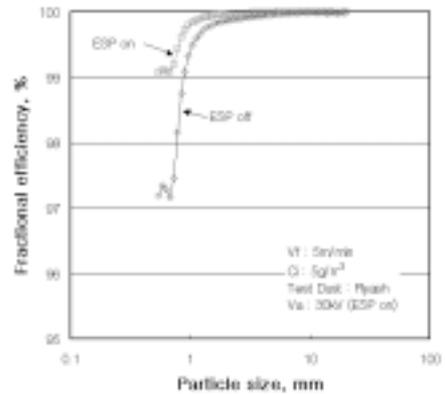
가하게 되면 집진챔버 내부로 유입된 먼지의 대부분이 집진극에 포집되고, 여과포로 유입되어 포집되는 먼지의 양은 매우 적기 때문이다. 그러나 전기집진부에 고전압을 인가한 상태에서도 시간이 경과함에 따라 탈진간격이 줄어들고 잔류압력손실이 증가하게 되는 것을 알 수 있는데, 이것은 집진극에 포집되는 먼지의 층이 두꺼워지면서 먼지의 하전 및 포집을 방해하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 이러한 현상을 없애기 위해서는 집진극 및 방전극의 주기적인 탈진이 필요함을 알 수 있다.

이러한 집진극 및 방진극의 탈진 조작은 여과포의 탈진 주기 및 성능과 관계가 되므로 적절한 탈진 강도 및 주기 등에 대한 연구가 추후 필요할 것으로 판단된다.

[그림 6]은 전기집진부에 고전압을 인가하지 않은 경우와 인가한 경우의 집진효율 변화를 나타낸 것이다. 그 중에서



(a) 총괄집진효율



(b) 부분집진효율(시간평균)

[그림 6] 고전압 인가여부에 따른 집진효율 변화

(a)는 운전시간 경과에 따른 총괄집진효율 변화를 나타낸 것으로서, 전기집진부에 고전압을 인가하지 않은 경우에는 초반부터 효율이 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 [그림 5]에 나타낸 바와 같이 여과포에서의 압력손실이 급격히 상승하면서 고압공기에 의한 탈진이 연속적으로 수행되고, 이에 따라 여과포의 직조구조가 변하면서 많은 양의 먼지들이 여과포를 통과하여 배출되기 때문이다. 반면, 고전압을 인가한 경우는 총괄집진효율이 시간이 지남에 따라 서서히 감소하는 경향이 나타나긴 하지만, 전체적으로 99.99% 가량의 높은 값을 유지하는 것을 알 수 있다.

[그림 6]의 (b)는 운전시간 전체에 대해 평균한 부분집진효율 결과이다. 그림에서 전기집진부에 고전압을 인가한 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 효율이 높게 나타나며, 1 μ m 미만의 미세먼지도 99.9% 이상 포집할 수 있는 것으로 나타나 특히 미세먼지에 대한 포집효율 상승 그 효과가 두드러짐을 알 수 있다.

또한, 전기집진부에 고전압을 인가한 조건에서도 실험 결과 여과포의 손상이 전혀 발견되지 않은 것으로 미루어 Hi-Filter는 고전압 방전에 의한 여과포의 손상을 효과적으로 방지할 수 있음을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 전기집진 방식과 여과집진 방식이 일체형으로 조합된 먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치인 Hi-Filter를 개발하기 위해 파일럿 규모의 장치를 이용한 실험을 통하여 운전 조건에 따른 성능 변화를 고찰하였다.

연구 결과, 파일럿 규모의 Hi-Filter는 여과포의 탈진간격을 획기적으로 연장시키며, 집진효율도 상당히 향상시킴을 알 수 있었다. 이러한 집진효율의 향상은 1 μ m 미만의 먼지입자 영역에서 특히 두드러졌다. 또한, 파일럿 규모의 Hi-Filter 고전압 방전에 의한 여과포의 손상을 근본적으로 방지할 수 있는 구조임을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 실험실 규모 장치를 사용한 연구 결과와 일치하는 것으로서, 추후 연구를 통한 성능 보완을 통해 상용화가 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. 최호경, 박석주, 임정환, 김상도, 박현설, 박영욱, “먼지부하 저감형 하이브리드 집진장치의 먼지포집특성”, 화학공학의 이론과 응용, 8권 1호, (2002).